旱地雨养农业覆膜体系及其土壤生态环境效应研究

蒋锐；郭 升；马德帝

（西北农林科技大学资源环境学院 杨凌 712100）

摘 要：覆膜技术作为一项有效提高粮食产量的重要手段，在中国西北地区雨养农业中得到广泛的推广应用。本文综述了地膜覆盖体系关于作物产量、土壤水分、土壤温度、土壤养分转化和迁移以及微生物数量和活性等方面的研究进展，以期为旱地雨养农业发展和完善覆膜技术体系提供理论支撑。研究表明：玉米、小麦和马铃薯覆膜处理增产显著，其平均增产率分别为：26.2%、37.1%和 29.8%；同时，增产受到覆膜方式影响，全覆膜处理增产效果最好，其玉米、小麦和马铃薯平均产量分别比半覆膜处理高 30.0%、5.1%和 26.4%。覆膜下玉米、小麦与马铃薯的水分利用效率分别比不覆膜处理高 42.8%、10.9%和 92.8%。覆膜处理影响硝酸盐在土体的空间分布，硝酸盐在膜下出现表聚现象，同时覆膜能够提高氮肥利用效率，减少氮素淋溶损失，降低氨挥发，但关于覆膜下反硝化过程的研究结论不一，还需进一步深入的探讨。覆膜对有机碳的影响与气候、土壤、作物、覆膜年限等有关，其研究结论尚有争议。另外，覆膜增加了农田土壤微生物量，改变土壤物理性状。尽管覆膜显著提高作物产量，其对生态环境却可能存在一定的影响，比如“奢侈耗水”现象，温室气体排放增加，土壤有机质耗竭，农膜残留等问题。因此，进一步系统研究覆膜对土壤生态环境各要素的影响机理，完善覆膜技术体系与应用，全面评估覆膜体系的生态环境影响，对其在中国干旱地区农业生产的可持续发展具有重要意义。

关键词：地膜覆盖；产量；土壤环境；养分迁移转化；西北地区

中图分类号：S318

Plastic film mulching system and the impact on soil ecological environment in rain-fed drylands of China

Jiang Rui§, Guo Sheng§, Ma Dedi

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yang ling 712100, China)

Abstract: Plastic film mulching as an important and effective cultivation for improving grain yield, has been widely applied in rain-fed agricultural area of Northwest China. This study reviewed the crop yield, soil moisture, soil temperature, soil nutrients transformation and transport, and microbial population and activity, to provide theoretical support for improving plastic film mulching system. Results showed that maize, wheat and potato increased yields significantly under plastic film mulching, with an average increase rate of 26.2%, 37.1% and 29.8% respectively. Meanwhile, yield increase was affected by plastic film covering modes. The fully film mulching treatment increased crop yields most significantly. The average yield of corn, wheat and potato were 30.0%, 5.1% and 26.4% higher than ridge and furrow system with ridge mulched, respectively. The water use efficiency under film mulching increased 42.8%, 10.9% and 92.8% for maize, wheat and potato, compared with traditional treatment without film mulching. Film mulching treatment had effect on vertical distribution of nitrate concentration in soil profile. Nitrate accumulated in the top soil layers under plastic film. Meanwhile, film mulching improved nitrogen fertilizer use efficiency, reduced nitrogen leaching loss, and reduced ammonia volatilization. However, there are some different conclusions for denitrification in film mulching system, and thus some further studies are required. The influence of film mulching on organic carbon was related to climate, soil, crop, and mulching time, and thus the results were not consistent due to these factors. In addition, film mulching increased farmland soil microbial biomass and changed soil physical properties. Although film mulching has significantly improved crop yields, it may have certain impact on ecological environment such as the phenomenon of “extravagant water deprivation”, increase of greenhouse gas emission, exhaustion of soil organic matters, mulch film residues and other problems. Thus, further systematically research on influence mechanisms, improvement of film mulching technology system and application, and comprehensively evaluation of the influence of film mulching system on ecological environment, are of great significance for the sustainable development of agricultural production in arid areas of China.

Keywords: Plastic film mulching; Yield; Soil water and heat; Nutrients transport and transform; Northwest region

我国旱地约占耕地总面积的50%，旱地粮食增产对于保障国家粮食安全至关重要。但旱地水资源匮乏，严重制约其农业发展[1]。有人预言中国21世纪最大的粮仓在西北，而提高水分利用效率是实现西北地区粮食增产潜力的基本前提[2]。覆膜技术显著改善水热条件，提高粮食产量，逐步在西北地区得到推广与应用，为解决粮食安全问题提供了新的思路[3-4]。

伴随着覆膜技术的推广，相关研究日益增加，研究内容从单一的增产效应衍生发展到覆膜对土壤温度、水分、无机盐、有机质、微生物的影响以及覆膜的生态环境效应等方面，逐步形成了围绕覆膜系统的研究体系。本文主要针对覆膜种植体系，对覆膜技术的发展、覆膜对土壤水热、养分、生物性质、作物产量的影响与作用机理以及覆膜的生态环境效应等方面进行概述，以期对地膜覆盖长期应用的可持续性做出综合评价，为旱地雨养农业中覆膜技术的完善以及地膜覆盖农田生态系统的可持续发展提供理论支撑。

1 覆膜技术体系研究

覆膜技术在我国的发展大致经过了三个阶段：引进实验阶段、扩大示范阶段和全面推广阶段。覆膜技术最早于 1948 年由日本人开始研究，1956 年开始应用于实际生产，1978 年引入我国，起初应用于蔬菜种植，后来逐渐发展到各种经济作物和粮食作物[5]。由于覆膜技术具有增产明显、成本低廉的优点，迅速在全国得到推广，我国现已成为世界上覆膜面积最大的国家[6]，至 2012 年，中国的覆膜面积已达到 2 333 亿公顷。尤其在西北干旱半干旱地区，地膜覆盖技术表现出了巨大的增产潜力，因而得到广泛的推广应用，陕西、甘肃、宁夏、新疆等地区覆膜面积持续扩大。2010 年新疆总覆膜面积为 185 万公顷，达到全疆耕地面积的 37.0%[7]；2013 年，宁夏仅玉米春季覆膜达到 3.5 万公顷，秋季覆膜 10.3 万公顷；2014 年，中央财政拨款 10 亿元用于支持旱作农业地区地膜覆盖技术的推广；2015 年，甘肃省覆盖面积达到 100 万公顷，占农作物播种面积的 27.0%。

经过几十年的发展，覆膜技术和方式得到了多方面的发展，已经在覆膜方式、覆膜与施肥灌溉结合以及覆膜机械应用等各个方面得到了完善，逐渐形成了具有中国特色的覆膜技术体系，在玉米、马铃薯、小麦和棉花等作物上应用广泛[8-11]。本文仅就旱地雨养农业中覆膜涉及的玉米、小麦、马铃薯等作物进行总结。

覆膜方式：经过长期的研究与实践，覆膜技术形成了包括半膜平覆盖、半膜垄沟覆盖(沟播、侧播、顶播)、全膜平覆盖和全膜双垄沟覆盖等多种覆膜方式。其中，全膜双垄沟覆盖技术的膜面集雨、保水保墒性能优势明显[12]，在降雨量为200~400 mm的地区推广较好，而半膜垄沟覆盖在降雨量为400~600 mm的地区应用广泛。

由图 1 可以看出全覆膜和半覆膜处理相对于平作不覆膜处理能够明显提高作物产量，而且全覆膜处理平均增产幅度高于半覆膜，全覆膜处理下的玉米、小麦和马铃薯的平均增产率分别为：53.7%，46.7%和 52.2%，半覆膜的平均增产率分别为: 23.7%, 40.6%和 25.8%，全覆膜比半覆膜产量高 30.0%, 5.1%和 26.4%。全膜覆盖处理下的玉米株高和穗位高明显高于其它覆膜方式，差异分别达到显著和极显著水平；穗长、穗粗、穗粒数和百粒重均最大，为提高玉米产量奠定了基础[13]。张养利等[14]研究指出，与其他覆膜方式相比，全膜双垄沟覆盖处理增温效应和 0~30 cm 土壤平均含水率最高，玉米产量可达到 8 670 kg hm^{-2}，较平作不覆膜栽培增产 57.5%，增产量分别是膜上播种和膜侧播种处理的 2.2 和 4.1 倍。

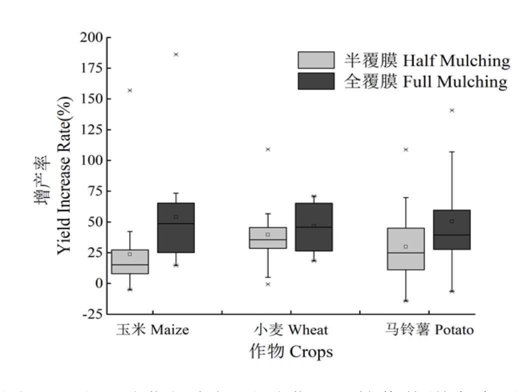


图 **1** 不同覆膜方式与不覆膜处理的作物增产率对比

Fig. 1 Comparison of yield increase between different mulching and no mulching treatments

样本量：玉米 x=36，小麦 y=40，马铃薯 z=43。箱线图边线为 25%和 75%数据范围，中线为中位数，“□”为平均数，箱图上下虚线为异常值边界；采用 F 检验判断显著性差异，*和**分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著。

Sample Number: maize x=36, wheat y=40, potato z=43. The boundary line of the boxplot line is 25% and 75% of the data range, the “×” is the median, “□” mean average, and “×” is the abnormal value. Using F test to determine significant difference, * and **

mean significant differences at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

由图 2 可看出，覆膜措施明显缩短玉米生育期，半覆膜和全覆膜措施分别使玉米生育期平均缩短 7.3 d 和 11.1 d；小麦生育期分别平均缩短为 1.5 d 和 0.2 d，但各研究之间差异较大，研究结果比较分散；马铃薯平均缩短 5.3 d 和 2.0 d，研究结果差异也较大。覆膜下作物生育期缩短主要是因为增温效应和保墒效应共同作用的结果，覆膜降低了作物遭受水干旱和低温胁迫的风险，使整个生育期提前；尤其在前期，覆膜的增温效应和保墒作用为作物种子发芽提供了更加适宜的温度和水分条件[15]。

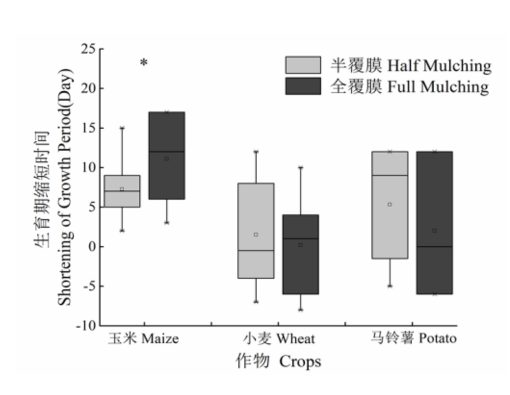


图 **2** 不同覆膜方式下相对于不覆膜处理作物生育期缩短时间的差异

(样本量：玉米 x=22，小麦 y=13，马铃薯 z=22)

Fig. 2 The difference of shortening time of growth period of different mulching treatments compared with no mulching treatment(Samples Number: maize x=22, wheat y=13, potato z=22)

覆膜时期：覆膜时期影响作物产量。研究表明，在干旱地区播种前的土壤水分对作物生长十分重要，而播种前覆膜能够有效提高土壤含水量[16]，秋覆膜作为一项有效的保水措施，有效抑制了秋冬时期土壤水分的蒸发，保蓄自然降水，提高了土壤含水率，有利于第二季玉米在前期的生长，因此能够明显提高水分利用效率和作物产量。崔琳琳[17]研究表明，秋覆膜处理的玉米产量较春覆膜和播种前覆膜分别高 13.0%和 21.8%；刘广才等[18]提出在甘肃降雨量为 250~350 mm 的半干旱偏旱旱作农业区建议采用秋季全覆膜技术，而在 500~600 mm 降雨量较为丰富的地区可采用顶凌覆盖方式，而且在水分、肥力条件差的地区可适当扩大垄宽，降低种植密度。Li[19]报道，春小麦在覆膜 20 天处理下产量最高，分别比覆膜 40 天和覆膜 60 天处理高 360 kg hm^{-2} 和 1 505 kg hm^{-2}，覆膜时间超过 40 天产量反而有所降低。

2 覆膜对作物产量的影响

由图 3 可知，玉米、小麦和马铃薯覆膜处理增产显著，其平均增产分别为: 26.2%、37.1%和 29.8%。覆膜能够显著提高各种农作物的经济产量，特别是在干旱半干旱地区和寒冷地区增产效果明显[20]。覆膜增产机制主要是：覆膜技术通过影响农田的微地形条件来改变土壤的理化性质，减少土壤水分的蒸发，提高土壤表层温度和水分利用率，在良好的水热条件下，使作物各个生育期提前，提高作物的出苗率，改善作物叶面积指数等农艺性状，从而显著提高作物产量和经济效益[21-23]。Liu[24]研究证明，覆膜措施增加玉米穗的籽粒数和千粒重，提高玉米种植密度。李尚中等[25]发现覆膜处理玉米穗粒数和百粒重分别增加 179.4 粒/穗和 8.4 g，张睿[26]却发现小麦覆膜虽然提高了成穗率和粒数，但是千粒重却有所降低。然而，个别研究发现玉米、小麦、马铃薯出现减产现象。刘胜尧等[27]发现，由于华北地区降雨量相对较高，平作覆膜处理会造成土壤渍水现象，通透性差，使玉米穗位下叶片严重早衰，导致产量低于不覆膜处理；李凤民等[28]的研究结果表明覆膜小麦产量比不覆膜平均低 83.2%，原因是覆膜小麦生长前期消耗大量土壤水分，后期降水少和深层水分不足导致产量低；梁东超等[29]发现早熟马铃薯品种在高温高湿环境下会对薯块形成和淀粉积累起到抑制作用，Wang[30]与其研究结果相似，覆膜使土壤温度升高反而降低了马铃薯出苗率，随着覆膜时间的增长，产量和水分利用效率都有所降低。

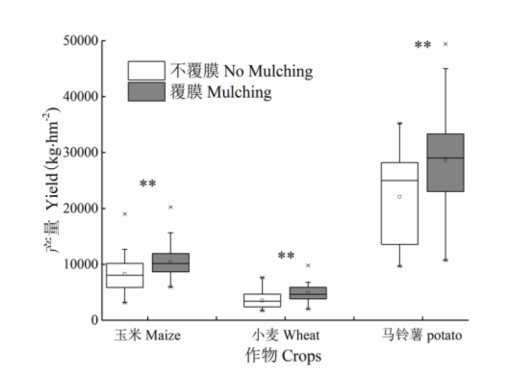


图 **3**　不同覆膜处理对作物产量的影响

(样本量：玉米 n=45，小麦　n=39，马铃薯　n=51）

Fig. 3　Effects of different mulching treatments on crop yield

(Samples Number: maize x=45, wheat y=39, potato z=51)

3　覆膜对土壤温度的影响

覆膜措施提高土壤温度缘于地膜良好的透光性，既能够使日光的短波辐射透过薄膜，防止地表热量以长波辐射的形式散失，又能避免地表乱流热交换和土壤水分蒸发带走热量。覆膜技术的增温效应，对作物前期生长发育和增产起到了重要的作用[31]。高玉红等[32]研究表明：土壤表层温度升高缩短了玉米籽粒达到最大灌浆速率的时间，在灌浆期期间，土壤 20 cm 和 25 cm 土层温度与灌浆的最大速率呈显著正相关。

覆膜对玉米地土壤的积温效应按生长期可分为三个阶段[33]：第一阶段，从玉米播种开始，随着温度不断升高，到拔节期积温效应达到顶峰。前期温度升高有利于玉米种子提前萌发，促进玉米植株的生长，使各个生育期提前。第二阶段，从拔节期到大喇叭口期积温效应减弱，一直持续到玉米灌浆前期。造成这种现象的原因主要有两个：一个是由于玉米的叶面积增加，阳光不能照射到地面；另外一个就是日照时间变短，直接导致地面获得的热量减少。第三阶段，玉米灌浆中后期积温效应有所增强，这一阶段气温开始降低，覆膜处理的农田土壤增温效果更加显著，从而有利于提高玉米籽粒的灌浆速率。

研究表明，覆膜增温受土壤含水率和光照时间影响。土壤含水率越高，增温越明显，主要有两个原因：一是地膜的下表面凝结形成水层，夜间土壤放射的长波辐射受到了水层的阻挡[34]；二是水具有较高的比热容，含水率高的土壤与含水率低的土壤相比，虽然白天升高相同的温度数，但是含水率高的土壤会吸收更多的热量，晚上膜内的水汽液化会放出热量，提高了膜内的温度。同时，天气状况不同会导致光照时间不同，造成增温的效果有所差异，增温效果依次为：晴天>多云>阴天>雨天[33]。

另外，覆膜影响不同深度土壤温度的日变化。李兴等[35]对黄土高原覆膜玉米表层温度的变化做了细致的研究，在 9:00~23:00 时间段覆膜增温明显，在日落之后，热量散失较露地慢。王树森等[34]发现随着土层加深，日平均气温温差却逐渐减小，说明覆膜对表层土壤的增温效果强于较为深层的土壤。热量由地表向下层土壤传递具有明显的滞后效应，覆膜不仅能够延迟土壤温度的下降，而且提高地表与下层土壤的温度变化率，土壤温度变化影响土壤中水汽的迁移，增加了由地内向地表移动的水汽数量，有助于提墒作用。

4　覆膜对土壤水分的影响

水分是影响作物生长的重要因素之一，特别是在降水量少、蒸发量大的干旱和半干旱地区，土壤水分是限制干旱地区农业发展的主要原因。覆膜具有提高降雨捕获量、抑制土壤水分无效蒸发、增加土壤的蓄水和水分回流的能力，从而提高土壤的水分利用效率[36-39]。刘庆华等[40]研究表明，当降水量为 5~15 mm 时，玉米行间覆膜能够有效增加集雨量，有效集雨系数由 0.5 增加到 0.8，在苗带为 15 cm 宽时，接纳的降雨量相当于自然降雨的 2.1~3.2 倍。王罕博等[41]等的研究表明覆膜处理较裸地能显著保持土壤水分，全生育期平均增加 4.9%，特别是在玉米生长前期，增幅达到 7.1%，为玉米的萌发和出苗提供有利条件。

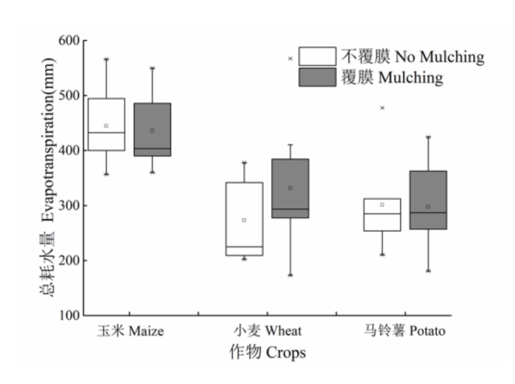


图 **4**　覆膜对作物总耗水量的影响

(样本量：玉米 n=13，小麦 n=9，马铃薯 n=7)

Fig 4. Effects of plastic film mulching on total water consumption of crops

(Samples Number: maize x=13, wheat y=9, potato z=7)

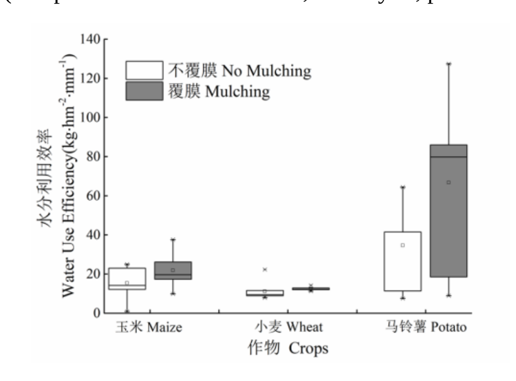


图 **5**　覆膜对作物水分利用效率的影响

(样本量：玉米 n=13，小麦 n=9，马铃薯 n=7)

Fig 5. Effects of plastic film mulching on water use efficiency of crops

(Samples Number: maize x=13, wheat y=9, potato z=7)

由图 4 可知，玉米在覆膜处理下平均耗水量比不覆膜处理低 1.9%，而小麦和马铃薯覆膜处理比不覆膜高 21.5%和 1.3%。不覆膜玉米总耗水量高可能是由于玉米生长季期间气温很高，田间土壤蒸发量大，导致总耗水量升高；小麦生长季期间温度较低，土壤水分蒸发较弱，覆膜下小麦的叶面积指数更高，反而导致覆膜总耗水量高于平作不覆膜[42]。由图 5 可知，各个作物覆膜处理的水分利用效率均明显高于不覆膜，其玉米、小麦与马铃薯的水分利用效率分别比不覆膜提高了 42.8%、10.9%和 92.8%，原因是覆膜作物长势更好，加大作物蒸腾量，同时抑制土壤水分的无效蒸发，从而提高水分利用效率。杨宁等[43]研究发现玉米在覆膜条件下的蒸散量明显低于不覆膜，水分利用效率更高，相比较不覆膜分别高出 33.3%；还有研究表明，全膜覆盖方式相对于其他覆膜方式更能减少水分损失，提高水分利用效率[44-46]。

覆膜具有提墒的作用，白天表层土壤温度升高，与中下层土壤形成温度差异，水蒸气不断向上扩散，聚集在表土和地膜之间，到了夜晚温度降低，水蒸气凝结到地膜的下表面，凝结的水滴重新落到表层土壤，在膜下形成了一个水分内循环系统，有效提高表层土壤含水率，而玉米大部分的根系都在 0~30 cm 土层，因此提墒使水分更容易被玉米获取利用[47]。李世清等[48]研究发现，覆膜农田 0~100 cm 土壤水分高于不覆膜，而 100~200 cm 土壤水分低于不覆膜，说明覆膜的提墒作用，同时也说明了覆膜的深层耗水特性[49]。

5　覆膜对土壤养分的影响

研究表明，覆膜改变土壤中氮、磷、钾、有机质的含量及其在土层中的分布特征，主要原因是覆膜改变了土壤的水热状况、微生物的数量和活性、土壤的理化性质和植物生长状况，从而影响养分的循环[50]。

5.1　覆膜对土壤氮素的影响

土壤氮素损失主要包括三个途径：硝酸盐的淋失、土壤侵蚀以及氨气和氧化亚氮等含氮气体的排放[51]，覆膜能够通过影响以上过程，从而改变土壤中氮素的含量和分布。但覆膜对氮素迁移转化的影响非常复杂，

涉及多个过程共同参与、相互影响。

覆膜能够改变硝酸盐时空分布，明显提高耕层土壤硝酸盐含量，在土壤表层出现聚集现象[15,52]。造成这一现象的原因主要是：1)覆膜避免了降水从土壤表层直接垂直入渗将硝酸盐直接带到深层土壤中，绝大部分水分只能通过沟内入渗，增强了水分的侧向移动，继而增加覆膜垄上水分的上行运动[53]；2)由于起垄的耕作方式，会使表层土壤撒施的肥料大部分都聚于垄上的土壤，减弱了氮素的淋溶现象；3)覆膜通过改善土壤水热条件从而促进了土壤表层有机氮的分解和活化[54]，从而提高表层土壤硝酸盐的含量。

覆膜处理能够抑制硝酸盐的淋溶，减缓硝态氮向下层迁移的速度,减少了被淋溶出根区以外的氮素量，提高了氮素的利用效率[55]。陈小莉等[56]研究认为，覆膜有效提高氮肥利用效率达 18.8%，研究还发现全膜覆盖方式比垄上半覆膜的硝酸盐淋溶量更少[57]，另外，地膜覆盖降低了雨水对土壤的直接冲刷作用，减少氮素的流失。

覆膜措施改变了土壤中氨挥发过程，显著降低氨的挥发[58]。有研究指出覆膜使土壤反硝化细菌造成的铵态氮挥发损失减少 90%左右，有效提高了氮肥利用率[59]。上官宇先等[58]发现垄沟覆膜铵态氮浓度高于平作，原因可能是垄作氮肥深施和覆膜减少了氨气的挥发量。

覆膜下氧化亚氮的排放受到土壤氮含量、水分、温度、土壤的孔隙度等多种因素的影响，研究条件不同造成研究结果有所差异[60]。李世清等[47]认为，覆膜使耕层水热条件得到改善，硝化和反硝化细菌活性加强，从而增加氧化亚氮的释放通量；白红英等[61]认为覆膜下氮素得到一定积累，硝态氮作为反硝化过程的底物，硝态氮的积累过程有可能增加氧化亚氮的排放；阎佩云等[62]提出了不同的观点：覆膜对氧化亚氮的排放无显著影响，硝化过程是黄土高原旱作玉米区影响氧化亚氮排放的主要因素，而土壤中的硝化底物无明显差异，施氮量才是影响氧化亚氮排放的重要因素；Liu[23]认为覆膜下的作物吸收了更多的无机氮，导致氧化亚氮排放量并没有升高。

5.2 覆膜对土壤磷的影响

覆膜提高微生物活性，加速有机磷的矿化，玉米产量升高需要消耗更多的速效磷，导致覆膜处理土壤的速效磷水平低于不覆膜[63]。杜社妮等[64]发现地膜覆盖后土壤速效磷略有下降，但全磷增加 12.5%，可能是覆膜能够减弱雨水对土壤的直接接触和打击，从而减少土壤侵蚀[63]。而有研究却表现出相反的结果，覆膜处理下的土壤有效磷有所升高[65-66]。

5.3 覆膜对土壤有机质的影响

土壤有机质是土壤肥力的基础，不仅影响土壤的物理化学性质，而且对土壤微生物和作物的生长发育具有重要的作用。覆膜主要通过以下两种方式影响有机质含量，一方面，覆膜提高了土壤温度和水分，改善了微生物的生长环境，促进微生物生长发育和新陈代谢，加速有机质的分解；另一方面，良好的生长环境会促进植物根系生长，增加根系分泌物，使土壤的有机质含量升高[67]，并且覆膜一定程度上阻碍土壤与空气间的气体交换，导致膜内二氧化碳浓度升高，抑制土壤呼吸，减少碳排放，促进农田的碳积累，而且覆膜会提高表层土壤水分，也会对土壤呼吸起到一定的抑制作用[68]。另外，有机碳和 C/N 比存在正反馈机制，覆膜作物获得高产必定是以大量氮肥的投入为前提，而长期施肥会导致土壤中的 C/N 比下降，加速有机碳的分解，从而进一步降低 C/N 比。

有机质含量与气候状况、土壤状况、作物种类、覆膜年限和耕作方式有关。覆膜通过改变土壤环境影响有机质含量，其研究虽然较多，但结论不一。有研究表明覆膜导致土壤有机质含量下降[69]，李利利等[70]发现覆膜措施会降低 0~5 cm 表层土壤的有机质含量，而且 0~40 cm 的轻质有机碳也呈现降低的趋势。李小刚等[71]研究显示土壤总有机质含量变化并不明显，而活性有机质含量有所提高，这与 Liu 等[72]在连续五年覆膜玉米种植试验的结论一致，覆膜虽然提高微生物和酶的矿化作用，但是同时增加了根际有机质含量和土壤中植物残体的分解速率，土壤有机质输入量和矿化量达到持平状态。崔志强等[73]得到了不同的结果，覆膜处理能显著提高有机质含量，同时会使表层土壤活性有机质含量显著增加。

6 覆膜对土壤微生物的影响

微生物是土壤最活跃的组成，是土壤养分转化和物质循环的驱动力，不仅对分解土壤中的有机质、促

进腐殖质形成和植物生长等具有重要作用[74]，而且能够优化土壤结构，微生物的分泌物和代谢产物可作为促进土壤团聚体形成的黏合剂。覆膜能够增加微生物的数量、提高微生物活性、改变群落结构以及影响其在土壤中的分布状况，主要原因是覆膜改善土壤水、热、肥力条件来直接影响微生物，同时促进作物根系生长来间接影响微生物的生长。另外，覆膜改变土壤的 pH、通气状况、二氧化碳浓度和土壤中酶的活性等条件也会影响微生物的生长。

覆膜土壤微生物类群以细菌最具优势，其次为放线菌，真菌最少[75]。研究表明，覆膜对土壤中的细菌影响最大，数量显著增加，放线菌和真菌数量也明显高于不覆膜，加快有机质周转与循环速度，促进养分的分解和释放，但可能会引起有机质的加速耗竭[76,77]。郭树凡等[75]研究发现，覆膜会影响放线菌和真菌的垂直分布，由于覆膜抑制了深层好气性放线菌和真菌的生长导致大部分都分布在表层土壤，覆膜显著增加了 0~15 cm 土壤中的细菌、放线菌和微生物的数量，分别提高了 22.6%、29.3%和 19.7%。覆膜处理不但可以改变微生物数量和分布状况，还能改变土壤微生物种类和生理状况[66]。郭树凡等[75]连续 7 年研究了覆膜玉米土壤中不同微生物在不同生育期和垂直深度的变化情况，研究发现覆膜三大类群微生物数量无明显变化，说明覆膜只影响当季作物的土壤微生物，无叠加效果。

7　覆膜对土壤性质的影响

有研究指出覆膜栽培可以改变土壤的 pH。施用化肥的情况下，覆膜改变了土壤水分和盐基离子运动方向，覆膜较裸地能够提高土壤 pH；当施用有机肥时，覆膜增强了有机质的矿化和吸收，导致 pH 反而低于传统种植[78]。

张野等[79]发现覆膜能够有效提高 0~20 cm 土壤团聚体的含量，团聚体含量高于不覆膜，可能是由于覆膜使土壤环境改善使微生物数量和活性提高，分泌物有助于团聚体的形成。但陈永祥等[80]在覆膜玉米的研究中得出相反结果：覆膜土壤中粒径>0.25 mm 大团聚体减少，粒径<0.001 mm 的微团聚体却增加 4.5 倍。覆膜能够改善土壤物理性状，增大土壤孔隙度，使其蓬松多孔，在作物生长初期明显有利于根系的伸展和沟内的水分侧向入渗到膜下土壤，阻止了因田间积水流失和蒸发所造成的损失，提高土壤含水量。覆膜土壤容重降低主要有两个原因：其一，覆膜减轻降雨对地面的直接拍打、淋洗和冲击，避免表土被压实；其二，覆膜的增温效应使土壤中的水汽膨胀，使土壤颗粒间距离增大，当温度下降时，水汽浓度降低，颗粒之间距离收缩，周而复始，土壤孔隙度增大[81]。李默隐等人研究证明覆膜相对于无膜土壤容重有所下降，孔隙度增大[82,83]。有研究发现，覆膜处理使 0~10 cm 土层孔隙度明显增大，但是覆膜处理的 10~30 cm 土层总孔隙度比裸地低 2.9%，土壤容重反而较无膜高 2.6%[84]。

8　覆膜对土壤生态环境的影响

覆膜栽培技术在提高作物产量、改善作物生长环境方面体现出明显的优势，但对土壤生态环境也存在一定的影响。

覆膜抑制水分无效蒸发的同时，也使玉米的耗水量增大，出现“奢侈耗水”现象，造成这一现象的原因是覆膜改变了土壤的水热状况，促进了作物的生长，使玉米各生育期提前和叶面积增大，导致水分的高额消耗[85]，造成对土壤水分和肥力的“透支”，连续覆膜耕作措施可能会使土壤水分耗竭，不利于农业的可持续发展。刘胜尧等[86]发现膜内温度升高，增加土壤水分的蒸发潜势，水分通过秧孔、破洞喷发可能加重旱情。谢军红等[87]在黄土高原半干旱区的研究证明了水分过度消耗现象，经过三年的连作之后发现土壤贮水量低于土壤稳定贮水量，出现水分亏损现象，在年均降水量 320 mm 时，全膜双垄沟播连作两年，全膜平作、半膜平作和露地种植连做三年就会出现土壤干燥化现象。因此，为保持土壤水分持续高效利用和避免土壤干层的形成，研究适合本地区的种植方式具有重要意义。

汪景宽等[88]研究指出，覆膜会导致作物出现生理性“早衰”，原因可能是土壤肥力较弱，加上作物前期的徒长，使作物后期营养不足，出现早衰现象。还有研究表明，覆膜使水分含量和CO_2浓度增加[89]，氧化还原电位和pH下降，导致过氧化氢酶活性降低，从而使过氧化氢积累，造成植物根系生长不良，导致早衰[90]。

9　覆膜下各因素的综合效应

覆膜通过改变土壤温度、水分、养分、微生物活性等条件影响土壤理化性质与作物生长状况，从而影

响作物产量。覆膜下各个因素共同作用，对土壤环境与作物形成综合效应。

覆膜措施直接影响表层土壤的温度和含水率，改善膜下土壤的水热条件，不仅有利于微生物和作物生长，而且具有活化土壤有机质、氮、磷、钾等养分的作用[54,91]。微生物的生长繁殖一方面利用土壤有机质、氮、磷、钾元素，另一方面微生物会分泌维生素和生长激素等物质，改变土壤养分状况[92]，从而促进作物生长，提高作物产量。同时，作物生长时根系一边吸收土壤养分一边分泌有机物质，根系的穿插作用也影响根际土壤的通气性，而覆膜促进根系生物量增加[93]，为微生物提供良好的生长环境[76]。

覆膜通过改变膜下土壤环境条件影响微生物活性，从而影响氮素去向。覆膜抑制了氮肥的挥发和降水对氮肥的淋溶作用，促进了作物对氮素的吸收[94-95]，从而提高了生物量与作物产量；同时，覆膜下水热条件的变化，影响土壤氮素矿化与有机质矿化作用，最终影响到土壤中氮的累积与有机质含量的动态变化。

10　覆膜体系存在的问题与对策

覆膜技术在提高作物产量和农民经济效益的同时，农膜残留、覆膜下氮素迁移转化和有机质耗损等问题制约着覆膜的可持续发展。

10.1　农膜残留问题

传统地膜是由聚乙烯或聚氯乙烯为原料生产而成的，这两种材料在土壤中极难被分解，能够长时间存在，造成“白色污染”，残留地膜造成的污染是一个亟待解决的问题。由于残膜使土壤疏松产生透气现象[96]，从而使水分蒸发，土壤含水量下降，而且土壤容重也有增加趋势，影响土壤结构和理化性质。地膜的大面积推广和长年连续使用，使土壤中存在大量的残膜，妨碍土地的耕作，不利于作物的生长。针对这一现象，需要大力提高农民的环保意识，使农田土壤中地膜能够及时回收，呼吁使用厚度大、强度高、利于回收的地膜；推广可降解地膜和液体地膜等新型地膜。李若帆[97]的研究证明可降解地膜具有明显的增产效果，与普通地膜不存在显著差异，为替代普通地膜提供了现实依据；政府可提出相应的政策，提高农田管理效率，起到引导和监督的作用[98]。

10.2　覆膜氮素表层累积问题

覆膜配合垄沟处理改变土壤水热性状与农田微地形，从而影响氮肥的迁移转化与吸收利用。覆膜栽培使根区的硝酸盐累积峰提高到了 0~40 cm，形成膜下表层累积，同时覆膜处理在施肥初期有减缓硝酸盐向下层迁移的作用。覆膜为作物生长提供了良好的水热条件，作物生物量、株高、茎粗、叶面积、根系、穗棒等都相对于不覆膜处理有明显提高，“库大源足，路径通畅”为作物吸收更多的氮素、减少氮肥损失奠定了基础。但是，覆膜下累积的硝酸盐在休闲期很可能会由于揭膜或膜的破损导致硝酸盐的加剧淋溶，而且膜下累积的硝酸盐也有可能会为反硝化作用提供底物，增加 N_2O 排放，从而加剧温室效应。因此在覆膜条件下，根据土壤状况优化氮肥的施用量和施肥次数、选择施用控释肥、在适宜地区种植填闲作物、利用作物的轮作、套作等管理措施对于提高氮肥利用率，减少环境污染意义重大。

10.3　覆膜下土壤有机质损耗问题

在农业生产中覆膜会使微生物数量和活性增强，加速有机质的分解作用，有利于有机氮的矿化和磷的释放，但是长期覆膜和不合理的耕作方式会导致土壤有机质的耗竭，通过透支“地力”而获得高产是难以持续的，甚至还有可能出现植株“早衰”现象。因此，为了农田土壤肥力的保持、作物的持续高产，必须改变农田的利用现状，改良耕种措施和方式。化肥和有机肥配施能够提高土壤有机质含量，在覆膜条件下，根据不同土壤的肥力状况和理化性质，增加有机肥施用量，选择合适的施肥量和配施比例，提高土壤中有机质含量[99]；研究发现地膜覆盖下的免耕地 0~20 cm 土层有机质含量升高，同时提高 0~120 cm 土层的水分含量；一膜两年用的覆膜措施可以减少土壤扰动和翻耕，能够避免耕层土壤暴露在空气当中，从而降低有机质的氧化分解；低有机质的农田可以种植绿肥作物培肥土壤，提高有机质含量。

10.4　完善覆膜技术体系

覆膜技术导致土壤水分、温度、通气等条件发生改变，进一步影响土壤养分转化和运移、微生物数量和活性、作物根系生长和代谢，彼此相互联系，共同作用，体系内涉及内容相对复杂。而现目前关于覆膜体系的系统研究还比较缺乏，导致单因素研究中所得结论矛盾较多，需要理清各因素之间的关系与逻辑，用

更系统的思维加强对覆膜体系的机理研究。同时，覆膜技术的改进和创新，应该全面评估其对于增产的贡献以及对土壤生态环境影响。另外，在推广过程中更需要根据土壤性质、气候条件、作物类型等条件差异，采用适宜的覆膜方式与技术，使得覆膜体系在旱地雨养农业生产过程中得到长期可持续发展。

参考文献 References

[1] 吕新业，冀县卿. 关于中国粮食安全问题的再思考[J]. 农业经济问题, 2013, 09:15-24.
Lv X Y, Ji X Q. Reconsideration on China's food security[J]. Issues in Agricultural Economy, 2013, 09:15-24.

[2] Fan X L, Zhang F S. Soil Water, Fertility and Sustainable Agricultural Production in Arid and Semiarid Regions on the Loess Plateau*[J]. Journal of Plant Nutrition & Soil Science, 2015, 163(163):107-113.

[3] Deng X P, Shan L, Zhang H, et al. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China[J]. Agricultural Water Management, 2006, 80(1–3):23-40.

[4] Unger P W. Role of mulches in dryland agriculture[J]. Physiological Aspects of Dryland Farming.u.s.gupta Ed, 1975.

[5] Dong H Z, Li W J, Tang W, et al. Early plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in saline fields.[J]. Field Crops Research, 2009, 111(3):269-275.

[6] 邢胜利，魏延安，李思训. 陕西省农作物地膜栽培发展现状与展望[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 01:10-13.
Xing S L, Wei Y A, Li S X. Present status and prospect of film-mulching cultivation of crops in Shaanxi Province. Agricultural Research in the Arid Areas, 2002, 01:10-13.

[7] 赵阳. 基于时间效应的新疆覆膜土地空间格局及其动态变化遥感研究[D]. 新疆师范大学, 2014.
Zhao Y. The Study of Remote Sensing on the Spatial Pattern andDynamic Changes of Soil Covered in Plastic Mulch in Xinjiang[D]. Xinjiang Normal University, 2014.

[8] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2005, 75(1):71-83.

[9] Zhou L M, Li F M, Jin S L, et al. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China[J]. Field Crops Research, 2009, 113(1):41-47.

[10] Han Y X, Wan X. A preliminary analysis on agricultural effects of cotton field mulched with plastic film[J]. Gansu Agric Sci Tech, 1995, 8: 14-16.

[11] Wang Q, Zhang E H, Li F M, et al. Optimum ratio of ridge to furrow for planting potato in micro-water harvesting system in semiarid areas[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 38-41.

[12] Liu C A, Zhou L M, Jia J J, et al. Maize yield and water balance is affected by nitrogen application in a film-mulching ridge–furrow system in a semiarid region of China[J]. European Journal of Agronomy, 2014, 52(B):103-111.

[13] Zhou L M, Li F M, Jin S L, et al. How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China[J]. Field Crops Research, 2009, 113(1):41-47.

[14] 张养利，郝平琦，赵增寿，郝双奎，曹三潮，蒋芳侠. 不同地膜覆盖方式对玉米产量和环境因素的影响[J]. 现代农业科技, 2014, 19:34-35.
Zhang Y L, Hao P Q, Zhao Z S, Hao S K, Cao S C, Jiang F X. Effects of different mulching methods on maize yield and environmental factors[J]. XianDai NongYe KeJi, 2014, 19:34-35.

[15] 王秀康，李占斌，邢英英. 覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2015, 04:884-897.
Wang X K, Li Z B, Xing Y Y. Effects of mulching and fertilization on maize yield, soil temperature and nitrate-N distribution[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2015, 04:884-897.

[16] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(4):241-249.

[17] 崔琳琳. 覆膜对土壤水分和玉米产量的影响[J]. 水利科技与经济, 2014(6):104-106.
Cui L L. Effects of plastic film mulching on soil moisture and maize yield[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2014(6):104-106.

[18] 刘广才，杨祁峰，段禳全，赵小文. 甘肃发展旱地全膜双垄沟播技术的主要模式[J]. 农业现代化研究, 2008, 05:629-632.
Liu G C, Yang Q F, Duan R Q, Zhao X W. Main modes for Gansu developing techniques of whole plastic-film mulching on double ridges and planting in catchment furrows in dryland[J]. Research of Agricultural Modernization, 2008, 05:629-632.

[19] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Research, 1999, 63(1):79-86.

[20] Wang C, Tian X, Li S. Effects of Plastic Sheet-mulching on Ridge for Rainwater-harvesting Cultivation on WUE and Yield of Winter Wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(2):208-214.
[21] Bu L D, Liu J L, Zhu L, et al. The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region[J]. Agricultural Water Management, 2013, 123(10):71-78.
[22] Ramakrishna A, Tam H M, Wani S P, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam[J]. Field Crops Research, 2006, 95(2–3):115-125.
[23] Zhao H, Xiong Y C, Li F M, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem[J]. Agricultural Water Management, 2012, 104(2):68-78.
[24] Liu J, Zhu L, Luo S, et al. Response of nitrous oxide emission to soil mulching and nitrogen fertilization in semi-arid farmland[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2014, 188(5):20-28.
[25] 李尚中，王勇，樊廷录，王立明，赵刚，唐小明，党翼，王磊，张建军. 旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应[J]. 中国农业科学, 2010, 05:922-931.
Li S Z, Wang Y, Fan T L, Wang L M, Zhao G, et al. Effects of different plastic film mulching on soil moisture, temperature and yield of dryland maize[J]. Scientia Agricultera Sinica, 2010, 05:922-931.
[26] 张睿,刘党校,李素绵. 小麦覆膜增产机理研究 Ⅰ.不同品种生育期及产量结构变化研究[J]. 麦类作物学报，1999, 02:45-48.
Zhang R, Liu D X, Li S J. Study on the mechanism of wheat film mulching: Ⅰ Study on the growth period and yield structure of different varieties[J]. Tritical Crops, 1999, 02:45-48.
[27] 刘胜尧，张立峰，李志宏,等. 华北旱地覆膜春玉米田水温效应及增产限制因子[J]. 应用生态学报，2014, 25(11):3197-3206.
Liu S Y, Zhang L F, Li Z H, et al. Effects of plastic film on soil moisture and temperature and limiting factors to yield for dryland spring maize in the North China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(11):3197-3206.
[28] 李凤民，鄢珣，王俊,等. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3):330-333.
Li F M, Yan X, Wang J, et al. The mechanism of yield decrease of spring wheat results from plastic film mulching[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3):330-333.
[29] 梁东超，李文刚，巩秀峰. 覆膜对马铃薯种薯生产的影响[J]. 内蒙古农业科技, 1998(S1):71-72.
Liang D C, Li W G, Gong X F. Effects of plastic film mulching on potato seed production[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 1998(S1):71-72.
[30] Wang F X, Feng S Y, Hou X Y, et al. Potato growth with and without plastic mulch in two typical regions of Northern China[J]. Field Crops Research, 2009, 110(2):123-129.
[31] Gan Y, Siddique K H M, Turner N C, et al. Chapter Seven–Ridge-Furrow Mulching Systems—An Innovative Technique for Boosting Crop Productivity in Semiarid Rain-Fed Environments[J]. Advances in Agronomy, 2013, 118:429-476.
[32] 高玉红，吴兵，姜寒玉，温小刚，牛俊义，冯启宇. 覆膜时期对全膜双垄沟播玉米籽粒灌浆特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 04:30-35+40.
Gao Y H, Wu B, Jiang Y H, Wen X G, Niu J Y, Feng Q Y. Effects of film mulching time on grain filling characteristics of maize with film mulched double-furrow sowing[J]. Agricultural Research In The Arid Areas, 2015, 04:30-35+40.
[33] 李建奇. 覆膜对春玉米土壤温度、水分的影响机理研究[J]. 耕作与栽培, 2006, 05:47-49+44.
Li J Q. Effects of plastic film mulching on soil temperature and water content of Spring Maize[J].Culture With Planting, 2006, 05:47-49+44.
[34] 王树森，邓根云. 地膜覆盖土壤能量平衡及其对土壤热状况的影响[J]. 中国农业气象, 1989, 02:20-25.
Wang S S, Deng G Y. Effects of plastic film mulching on soil energy balance and soil thermal regime[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1989, 02:20-25.
[35] 李兴，程满金，勾芒芒，宋跃兴. 黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征[J]. 生态环境学报, 2010, 01:218-222.
Li X, Cheng M J, Gou M M, Song Y X. Variation of soil temperature about plastic film mulching maize in semi-arid, the Loess plateau. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 01:218-222.
[36] Wang Y J, Xie Z K, Malhi S S, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China.[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(3):374-382.
[37] Enrique G S, Braud I, Jean-Louis T, et al. Modelling heat and water exchanges of fallow land covered with plant-residue mulch[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 1999, 97(3):151-169.
[38] Wang Q, Zhang E, Li F, et al. Runoff Efficiency and the Technique of Micro-water Harvesting with Ridges and Furrows, for Potato Production in Semi-arid Areas[J]. Water Resources Management, 2008, 22(10):1431-1443.

[39] Zegada-Lizarazu W, Berliner P R. Inter‐row Mulch Increase the Water Use Efficiency of Furrow‐Irrigated Maize in an Arid Environment[J]. Journal of Agronomy & Crop Science, 2011, 197(3):237–248.
[40] 刘庆华，王立坤，马永胜．行间覆膜节水技术集雨作用的研究[J]．东北农业大学学报, 2006, 03:367-369.
Liu Q H, Wang L K, Ma Y S. Effect of catching rainwater with saving water technology of covering film between furrows[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2006, 03:367-369.
[41] 王罕博，龚道枝，梅旭荣，郝卫平．覆膜和露地旱作春玉米生长与蒸散动态比较[J]．农业工程学报, 2012, 22:88-94.
Wang H B, Gong D Z, Mei X R, Hao W P. Dynamics comparison of rain-fed spring maize growth and evapotranspiration in plastic mulching and un-mulching fields[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 22:88-94.
[42] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2005, 75(1):71-83.
[43] 杨宁，孙占祥，张立桢，郑家明，冯良山，李开宇，张哲，冯晨．基于改进 AquaCrop 模型的覆膜栽培玉米水分利用过程模拟与验证[J]．农业工程学报, 2015, S1:122-132.
Yang N, Sun Z X, Zhang L Z, Zheng J M, Feng L S, Li K Y, Zhang Z, Ma C. Simulation of water use process by film mulched cultivated maize based on improved AquaCrop model and its verification[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, S1:122-132.
[44] Zhao H, Wang R Y, Ma B L, et al. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem[J]. Field Crops Research, 2014, 161(1385):137-148.
[45] Yuan T, Su D, Li F, et al. Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semiarid areas[J]. Field Crops Research, 2003, 84(3):385-391.
[46] Wang F X, Wu X X, Shock C C, et al. Effects of drip irrigation regimes on potato tuber yield and quality under plastic mulch in arid Northwestern China[J]. Field Crops Research, 2011, 122(1):78-84.
[47] Jiang R, Li X, Zhou M, et al. Plastic film mulching on soil water and maize (Zea mays L.) yield in a ridge cultivation system on Loess Plateau of China[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2016(1):1-15.
[48] 李世清，李东方，李凤民，白红英，凌莉，王俊．半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应[J]．西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 05:21-29.
Li S Q, Li D F, Li F M, Bai H Y, Ling L, Wang J.Soil ecological effects of plastic film mulching in semiarid agro-ecological system[J]. Journal of Northwest Sci-tech University of Agricultural and Forestry (Natural Science Edition), 2003, 05:21-29.
[49] Zhang S, Li P, Yang X, et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water, growth and yield of spring-sown maize[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 112(1): 92-97.
[50] Li Y S, Wu L H, Zhao L M, et al. Influence of continuous plastic film mulching on yield, water use efficiency and soil properties of rice fields under non-flooding condition[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 93(2):370-378.
[51] 高忠霞，杨学云，周建斌，王祥，王宏．小麦-玉米轮作期间不同施肥处理氮素的淋溶形态及数量[J]．农业环境科学学报, 2010, 08:1624-1632.
Gao Z X, Yang X Y, Zhou J B, Wang X, Wang H. Forms and Amounts of Nitrogen in Leachates Affected by Different Fertilizations after one Wheat-maize Rotation[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 08:1624-1632.
[52] Li F M, Wang J, Xu J Z, et al. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China[J]. Soil & Tillage Research, 2004, 78(1):9-20.
[53] 朱伟，黎晓，李会杰,等．黄土旱塬垄作覆膜栽培土壤水分及温度变化研究[J]．干旱地区农业研究, 2016, 34(6):32-40.
Zhu W, Li X, Li H J, et al. Soil moisture and temperature for plateau plastic mulching cultivation in drylands of Loess Plateau[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(6):32-40.
[54] Zhang H, Liu Q, Yu X, et al. Effects of plastic mulch duration on nitrogen mineralization and leaching in peanut (Arachis hypogaea) cultivated land in the Yimeng Mountainous Area, China[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2012, 158:164-171
[55] Romic D, Romic M, Borosic J, et al. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (Capsicum annuum, L.) cultivation[J]. Agricultural Water Management, 2003, 60(2):87-97
[56] 陈小莉，李世清，王瑞军，任小龙，李生秀．半干旱区施氮和灌溉条件下覆膜对春玉米产量及氮素平衡的影响[J]．植物营养与肥料学报, 2008, 04:652-658.
Chen X L, Li S Q, Wang R J, Ren X L, Li S X. Effect of film mulching on yield and nitrogen balance of spring maize under different nitrogen and irrigation treatments in semi2arid region[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 04:652-658.
[57] Haraguchi T, Marui A, Yuge K, et al. Effect of plastic-film mulching on leaching of nitrate nitrogen in an upland field converted from paddy[J]. Paddy and Water Environment, 2004, 2(2):67-72.

[58] 上官宇先，师日鹏，李娜，韩坤，李会科，王林权．垄作覆膜条件下田间氨挥发及影响因素[J]．环境科学，2012, 06:1987-1993.

Shang Guan Y X, Shi R P, Li N, Han K, Li H K, Wang L Q. The influence of ammonia volatilization and factors of ridge culture conditions. Chinese Journal of Environmental Science, 2012, 06:1987-1993.

[59] 李丛，汪景宽．长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤有机碳和全氮的影响[J]．辽宁农业科学, 2005, 06:8-10.

Li C, Wang J K. Effects of Long-term Mulching and Fertilizer Treatments on Organic Carbon and Total Nitrogen in Brown Soil[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2005, 06:8-10.

[60] 刘建亮．旱地高产高效玉米栽培体系水氮管理及调控[D]．西北农林科技大学, 2014.

Liu J L. Management and regulation of water and nitrogen for high-yield and high-efficiency dryland maize system[D]. Northwest A&F University, 2014.

[61] 白红英，韩建刚,张一平．覆盖种植措施对农田土壤中 N_2O 排放的影响[J]．农业环境科学学报, 2003, 04:394-396.

Bai H Y, Han J G, Zhang Y P. Effects of Mulching and Planting on N2O Discharge Flux from Soil[J]. Journal of Agro-Environment science, 2003, 04:394-396.

[62] 阎佩云，刘建亮，沈玉芳，李世清．黄土旱塬旱作覆膜春玉米农田 N_2O 排放通量及影响因素研究[J]．农业环境科学学报, 2013, 11:2278-2285.

Yan P Y, Liu J L, Shen Y F, Li S Q. Nitrous Oxide Emissions and Its Influencing Factors in Spring Corn Fields Mulched with Plastic Film on the Loess Plateau. Journal of Agro-Environment Science, 2013, 11:2278-2285.

[63] 汪景宽，须湘成，张旭东，张继宏，谷俊武．长期地膜覆盖对土壤磷素状况的影响[J]．沈阳农业大学学报，1994, 03:311-315.

Wang J K, Xu X C, Zhang X D, Zhang J H, Gu J W. Effects of long-term sheeting with plastic film on the properties of phosphorus in soil[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1994, 03:311-315.

[64] 杜社妮，白岗栓．玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J]．干旱地区农业研究, 2007, 05:56-59.

Du S N, Bai G S. Studies on effects of plastic film mulching on soil environment of maize field [J]. Agricultural Research In the Arid Areas, 2007, 05:56-59.

[65] Wang X L, Li F M, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. Agricultural Water Management, 2005, 78(3):181-194.

[66] Liu Y, Mao L, He X, et al. Rapid change of AM fungal community in a rain-fed wheat field with short-term plastic film mulching practice[J]. Mycorrhiza, 2012, 22(1):31-39.

[67] Liu J, Bu L, Zhu L, et al. Optimizing Plant Density and Plastic Film Mulch to Increase Maize Productivity and Water-Use Efficiency in Semiarid Areas [J]. Agronomy Journal, 2014, 106(4):1138–1146.

[68] 高翔，龚道枝，顾峰雪，郝卫平，梅旭荣．覆膜抑制土壤呼吸提高旱作春玉米产量[J]．农业工程学报, 2014, 06:62-70.

Gao X, Gong D Z, Gu F X, Hao W P, Mei X R. Inhibiting soil respiration and improving yield of spring maize in fields with plastic film mulching[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 06:62-70.

[69] Li Y S, Wu L H, Zhao L M, et al. Influence of continuous plastic film mulching on yield, water use efficiency and soil properties of rice fields under non-flooding condition[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 93(2):370-378.

[70] 李利利，王朝辉，王西娜,等．不同地表覆盖栽培对旱地土壤有机碳、无机碳和轻质有机碳的影响[J]．植物营养与肥料学报, 2009, 15(2):478-483.

Li L L, Wang Z H, Wang X N, et al. Effects of soil-surface mulching on organic carbon, inorganic carbon and light fraction organic carbon in dryland soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(2):478-483.

[71] 李小刚，李凤民．旱作地膜覆盖农田土壤有机碳平衡及氮循环特征[J]．中国农业科学, 2015, 23:4630-4638.

Li X G, Li F M. Soil Organic Carbon Balance and Nitrogen Cycling in Plastic Film Mulched Croplands in Rainfed Farming Systems[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 23:4630-4638.

[72] Liu X, Li X G, Hai L, et al. Film-Mulched Ridge–Furrow Management Increases Maize Productivity and Sustains Soil Organic Carbon in a Dryland Cropping System[J]. Soil Science Society of America Journal, 2014, 78(4):1434-1441.

[73] 崔志强，汪景宽，李双异，王婷婷．长期地膜覆盖与不同施肥处理对棕壤活性有机碳的影响[J]．安徽农业科学，2008, 19:8171-8173.

Cui Z Q, Wang J K, Li S Y, Wang T T. Effects of Long-term Mulching and Different Fertilization Treatments on Active Organic Carbon in Brown Earth[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 19:8171-8173.

[74] 周丽霞，丁明懋．土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用[J]．生物多样性, 2007, 02:162-171.

Zhou L X, Ding M M. Soil microbial characteristics as bioindicators of soil health[J]. Biodiversity Science, 2007, 02:162-171.

[75] 郭树凡，陈锡时，汪景宽．覆膜土壤微生物区系的研究[J]．土壤通报, 1995, 01:36-39.

Guo S F, Chen X S, Wang J K. Study on the microbial flora of plastic film mulching soil [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1995, 01:36-39.
[76] 林雁冰，薛泉宏，颜霞．覆盖模式及小麦根系对土壤微生物区系的影响[J]．中国生态农业学报, 2008, 06:1389-1393.
Lin Y B, Xue Q H, Yan X. Effect of mulching mode and wheat root on soil microbial flora[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 06:1389-1393.
[77] 蔡昆争，骆世明，方祥．水稻覆膜旱作对根叶性状、土壤养分和土壤微生物活性的影响[J]．生态学报，2006, 06:1903-1911.
Cai K Z, Luo S M, Fang X. Effects of film mulching of upland rice on root and leaf traits, soil nutrient content and soil microbial activity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 06:1903-1911.
[78] 李世朋，蔡祖聪，杨浩,等．长期定位施肥与地膜覆盖对土壤肥力和生物学性质的影响[J]．生态学报，2009, 29(5):2489-2498.
Li S P, Cai Z C, Yang H, et al. Effects of long-term fertilization and plastic film covering on some soil fertility and microbial properties [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5):2489-2498.
[79] 张野，王显瑞，赵禹凯，李书田，赵敏．覆膜对谷子农艺性状、产量及土壤物理性质的影响[J]．作物杂志，2012, 05:153-158.
Zhang Y, Wang X R, Zhao Y K, Li S T, Zhao M. Effects of plastic film mulching on agronomic traits, yield and soil physical properties of Foxtail Millet [J]. Crops, 2012, 05:153-158.
[80] 陈永祥，刘孝义，刘明国．地膜覆盖栽培的土壤结构与空气状况研究[J]．沈阳农业大学学报, 1995, 02:146-151.
Chen Y X, Liu X Y, Liu M G. Soil air regime and soil structure of the fields under plastic mulching [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1995, 02:146-151.
[81] 于永梅，李艳杰，朱晶，何小华，高锦荣．玉米大垄行间覆膜栽培技术的研究初报[J]．玉米科学, 2006, 01:146-148.
Yu Y M, Li M J, Zhu J, He X H, Gao J R. Preliminary Research Report on Cultivation Technique of Maize with Plastic Film Mulching in the Soil Furrow of Big Ridge [J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 01:146-148.
[82] 李默隐．地膜覆盖栽培对土壤温度、容重、水分及烟叶产量质量的效应[J]．土壤通报, 1983, 01:27-29.
Li M Y. Effects of plastic film mulching on soil temperature, bulk density, water content and yield and quality of tobacco [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1983, 01:27-29.
[83] Li Y S, Wu L H, Zhao L M, et al. Influence of continuous plastic film mulching on yield, water use efficiency and soil properties of rice fields under non-flooding condition[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 93(2):370-378.
[84] Zhang G S, Chan K Y, Li G D, et al. Effect of straw and plastic film management under contrasting tillage practices on the physical properties of an erodible loess soil[J]. Soil & Tillage Research, 2008, 98(2):113-119.
[85] 刘胜尧，李志宏，张立峰，等．覆膜对华北春玉米磷钾吸收、分配及水分利用率的影响 [J]．水土保持学报，2014, 28(4):97-103.
Liu S Y, Li Z H, Zhang L F, et al. Effects of Plastic Film Mulching on Absorption and Distribution of P and K and Water Use Efficiency of Spring Maize in North China Plain [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(4):97-103.
[86] 刘胜尧，张立峰，贾建明，范凤翠，石玉芳，李志宏．华北旱地覆膜对春甘薯田土壤温度和水分的效应[J]．江苏农业科学, 2015, 03:287-292.
Liu S Y, Zhang L F, Jia J M, Fan F C, Shi Y F, Li Z H. Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture in spring sweet potato field in North China [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 03:287-292.
[87] 谢军红，柴强，李玲玲，张仁陟，牛伊宁，罗珠珠，蔡立群．黄土高原半干旱区不同覆膜连作玉米产量的水分承载时限研究[J]．中国农业科学, 2015, 08:1558-1568.
Xie J H, Chai Q, Li L L, Zhang R Z, Niu Y N, Luo Z Z, Cai L Q. The Time Loading Limitation of Continuous Cropping Maize Yield Under Different Plastic Film Mulching Modes in Semi-Arid Region of Loess Plateau of China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 08:1558-1568.
[88] 汪景宽，张继宏，须湘成．地膜覆盖对土壤有机质转化的影响[J]．土壤通报, 1990, 04:189-193.
Wang J K, Zhang J C, Xu X C. Effects of plastic film mulching on soil organic matter transformation[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1990, 04:189-193.
[89] K. Subrahmaniyan, P. Kalaiselvan, T. N. Balasubramanian, et al. Crop productivity and soil properties as affected by polyethylene film mulch and land configurations in groundnut (Arachis hypogaea L.)[J]. Archives of Agronomy & Soil Science, 2006, 52(1):79-103.
[90] 杨青华，韩锦峰．棉田不同覆盖方式对土壤微生物和酶活性的影响[J]．土壤学报, 2005, 42(2):348-351.
Yang Q H, Han J F. Effects of mulching on soil microorganisms and enzyme activities in cotton field[J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(2):348-351.

[91] Wang Y P, Li X G, Hai L, et al. Film fully-mulched ridge-furrow cropping affects soil biochemical properties and maize nutrient uptake in a rained semi-arid environment[J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2014, 60(4):486-498.

[92] 沈仁芳，赵学强. 土壤微生物在植物获得养分中的作用[J]. 生态学报, 2015, 35(20):6584-6591.

Shen R F, Zhao X Q. Role of soil microbes in the acquisition of nutrients by plants[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(20).

[93] Liu X E, Li X G, Guo R Y, et al. The effect of plastic mulch on the fate of urea-N in rain-fed maize production in a semiarid environment as assessed by 15 N-labeling[J]. European Journal of Agronomy, 2015, 70:71-77.

[94] Gao Y, Yun L, Zhang J, et al. Effects of mulch, N fertilizer, and plant density on wheat yield, wheat nitrogen uptake, and residual soil nitrate in a dryland area of China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2009, 85(2):109-121.

[95] 朱琳，李世清. 地表覆盖对玉米籽粒氮素积累和干物质转移“源-库”过程的影响[J]. 中国农业科学，2017, 50(13):2528-2537.

Zhu L, Li S Q. Effect of Soil Surface Mulching on the Maize Source-Sink Relationship of Nitrogen Accumulation and Dry Matter Transfer[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017.

[96] 王海泉. 大豆行间覆膜增产的生理基础及对后作影响研究[D]. 沈阳农业大学, 2009.

Wang H Q. Study on physiological basis of yield and influences on aftercrop by aovering film between furrows cultivation in soybean [D]. Shenyang Agricultural University, 2009.

[97] 李若帆，申丽霞，兰印超. 不同覆膜处理对土壤水分温度及春玉米产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 2014, 30(第 6 期 2 月):209-214(6):209-214.

Li R F, Shen L X, Lan Y C. The soil temperature, moisture and spring corn output under different film mulching [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30:209-214(6):209-214.

[98] 李治国，周静博，张丛,等. 农田地膜污染与防治对策[J]. 河北工业科技, 2015, 32(2):177-182.

Li Z G, Zhou J B, Zhang C, et al. Pollution and control countermeasures of farmland mulching film[J]. Hebei Journal of Industrial Science & Technology, 2015, 32(2):177-182.

[99] 汪景宽，张继宏，须湘成，张旭东，程凡，孙效文，林立萍，陈恩凤. 长期地膜覆盖对土壤氮素状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 02:125-130.

Wang J K, Zhang J X, Xu X C, Zhang X D, Cheng F, Sun X W, Lin L P, Chen E F. Effects of long term plastic film mulching on soil nitrogen status[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996, 02:125-130.